

Beschreibung

Bezeichnung der Erfindung: Messvorrichtung mit Mikrosensor
und Verfahren zu seiner Herstellung

5

Die Erfindung betrifft eine Messvorrichtung mit wenigstens einem Mikrosensor sowie ein Verfahren zur Herstellung einer solchen Messvorrichtung.

- 10 Mikrosensoren und insbesondere mikromechanische Sensoren für Druck oder Beschleunigung haben in integrierten elektronischen Schaltungen große technologische Bedeutung erlangt. Die bekannten Mikrosensoren sind als piezoresistive oder kapazi-
- 15 tative Drucksensoren für Absolut-, Relativ- und Differenzdruckmessungen ausgebildet. Sie beruhen auf dem Prinzip, dass ein Verformungskörper aus einem Halbleitermaterial unter Einwirkung einer Kraft verformt wird.

- 20 Aus der WO 95/09366 ist ein Beschleunigungssensor bekannt, der ein bewegliches Masseteil besitzt, welches über Federelemente mit einer Aufhängung verbunden ist. Das bewegliche Masseteil umfasst eine bewegliche Platte eines Kondensators. Die andere, feststehende Platte des Kondensators ist mit dem Gehäuse verbunden. Auf das Masseteil wirkende Beschleunigungen führen zu einer Auslenkung des Masseteils und damit zu
- 25 einer Änderung der Kapazität des Kondensators. Diese Kapazitätsänderung kann detektiert werden.

- 30 Ferner sind Drucksensoren bekannt, bei denen ein Verformungskörper aus einem Halbleitermaterial in seinem Randbereich mit einem Grundkörper verbunden ist. Bei diesem Fall ist der Verformungskörper vorzugsweise als eine dünne Membran ausgebildet. In den Bereichen der Membran, in denen eine besonders hohe mechanische Spannung auftritt, sind eine oder mehrere
- 35 piezoresistive Widerstandsbahnen angeordnet. Hierdurch führt eine Auslenkung des Verformungskörpers zu einer detektierbaren elektrischen Spannung.

Die bekannten Mikrosensoren haben sich zwar in der Praxis vielfältig bewährt, sie sind jedoch mit dem Nachteil verbunden, dass für ein ausreichend großes elektrisches Signal eine entsprechend große Ausdehnung des Verformungskörpers mit entsprechend großen Abmessungen des Sensors erforderlich ist. Eine beliebige Verkleinerung für eine Integrierbarkeit in integrierte elektrische Schaltung ist nicht ohne weiteres möglich, da einerseits mikromechanische Grenzen bei der Ausbildung der Membran oder Cantilevers vorliegen oder Einschränkungen der Messgenauigkeit bzw. der erhaltenen Signalthöhe hinzunehmen sind.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Messvorrichtung mit einem oder mehreren Mikrosensoren mit geringen Abmessungen sowie ein Verfahren zu ihrer Herstellung zur Verfügung zu stellen, die eine problemlose Integration in bestehende monolithische Halbleiterschaltungen ermöglicht, und welche gleichwohl eine hohe Genauigkeit bzw. Signalauflösung bei der Erfassung der zu messenden physikalischen Größe, wie insbesondere Druck, Beschleunigung oder Temperatur gewährleistet.

Diese Aufgabe wird durch eine Messvorrichtung nach Anspruch 1 und ein Verfahren zur Herstellung nach Anspruch 18 gelöst.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Messvorrichtung wenigstens einen Mikrosensor mit jeweils wenigstens zwei durch wenigstens einen Kanal miteinander verbundenen Kammern aufweist, welche Kammern mit einem Gas gefüllt sind und nach außen abgeschlossen sind und eine Detektionseinrichtung zur Erfassung des im wenigstens einen Kanal aufgrund verschiedener in den Kammern herrschender Drücke fließenden Gasstroms vorgesehen ist.

Die Erfindung sieht also vor, einen Mikrosensor so auszustatten, dass er mehrere Hohlräume aufweist, wobei wenigstens ein

Teil dieser Hohlräume derartig miteinander verbunden ist, dass ein in den Hohlräumen enthaltenes Gas von einem Hohlraum in einen oder mehrere andere Hohlräume fließen kann. Die Hohlräume befinden sich hierbei beispielsweise innerhalb eines Halbleitermaterials.

Dem Prinzip der Erfindung folgend wird normale Raumluft oder ein Gas wie Stickstoff als Füllgas eingesetzt. Um eine deutliche Druckänderung und somit einen ausreichenden Gasstrom zu erzielen (beispielsweise durch Beschleunigung des gesamten Mikrosensors), ist es zweckmäßig, ein Gas mit einem möglichst hohen spezifischen Gewicht und hoher Wärmekapazität einzusetzen.

In einer besonders bevorzugten Ausführung der Erfindung ist die Detektionseinrichtung durch ein ihr zugeordnetes Heiz-Kühl-Element auf eine von der Temperatur des Gases in den Kammern unterschiedliche Messtemperatur aufheizbar oder kühlbar.

Eine besonders bevorzugte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass eine aufgrund des zwischen den Kammern durch den Kanal fließenden Gasstroms erfolgende Änderung der Temperatur der Detektionseinrichtung erfasst wird und die Detektionseinrichtung als Reaktion hierauf ein der Änderung der Temperatur entsprechendes elektrisches Mess-Signal am Ausgang der Detektionseinrichtung liefert.

In einer weiterhin bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass das mit der Detektionseinrichtung gekoppelte Heiz-Kühl-Element durch einen elektrischen Heizwiderstand, einen Heiztransistor, eine Heizdiode oder ein Peltierelement ausgebildet ist.

Zweckmäßigerweise kann dabei in einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung die Detektionseinrichtung durch das Heiz-Kühl-Element selbst ausgebildet sein.

Eine konstruktiv besonders einfache und daher bevorzugte Ausführung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass die Detektionseinrichtung durch ein Thermoelement ausgebildet ist.

5

In einer weiterhin besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass ein lediglich in einer Kammer mündender Referenzkanal vorhanden ist, dem eine Referenz-Detektionseinrichtung mit vorbestimmten elektrischen Eigenschaften zugeordnet ist. Vorteil hierbei ist, dass durch einen Vergleich der Signale der Detektionseinrichtung und der Referenz-Detektionseinrichtung der Einfluss der Temperatur des Mikrosensors selbst schaltungstechnisch eliminiert werden kann.

15

Hierbei ist in einer bevorzugten Ausgestaltung vorgesehen, dass die Detektionseinrichtung und die Referenz-Detektionseinrichtung in einer Messbrückenschaltung verschaltet sind.

20 Eine weitere vorteilhafte Ausführung der Erfindung sieht vor, dass eine Zusatz-Detektionseinrichtung mit vorbestimmten elektrischen Eigenschaften der Detektionseinrichtung zugeordnet ist. Dabei wird die Zusatz-Detektionseinrichtung durch den erwärmten bzw. abgekühlten Gasstrom, welcher durch die

25 auf der Messtemperatur befindliche Detektionseinrichtung in seiner Temperatur verändert wurde, im Falle der Gasstromrichtung von der Detektionseinrichtung zur Zusatz-Detektionseinrichtung, erwärmt bzw. abgekühlt wird und als Reaktion hierauf ein elektrisches Mess-Signal an ihrem Ausgang liefert

30 bzw. im Falle einer Gasstromrichtung von der Zusatz-Detektionseinrichtung zur Detektionseinrichtung kein Mess-Signal an ihrem Ausgang liefert. Der Vorteil dieser Anordnung liegt darin, dass die Gasstromrichtung detektiert werden kann.

35 Um den Gasstrom besonders gut erfassen zu können, ist nach einer weiteren Ausführungsform der Erfindung vorgesehen, dass

die Detektionseinrichtung und/oder die Zusatz-Detektionseinrichtung innerhalb mindestens eines Kanals ausgebildet ist.

5 Sowohl die Detektionseinrichtung als auch die Referenz-Detektionseinrichtung oder die Zusatz-Detektionseinrichtung ist in einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung in oder an einem Randbereich einer Wandung angeordnet oder aus der Wandung bestehend ausgebildet. Dem folgend besteht die Wandung in einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung
10 aus Halbleitermaterial.

Weiterhin bevorzugt sind die Kammern und die Kanäle und/oder der Referenzkanal des Mikrosensors in oder auf einem Halbleitersubstrat ausgebildet. Der Vorteil dieser Ausführung
15 liegt in der Integrierbarkeit der Messvorrichtung in einer in einem Halbleitersubstrat ausgebildeten integrierten Schaltung.

Für die Erfassung eines äußeren Druckes bzw. einer Druckänderung ist in einer Ausführungsform der Erfindung eine nach außen abschließende elastische Membran vorgesehen.
20

Eine weiterhin bevorzugte vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass eine Vielzahl von Mikrosensoren in Zeilen und Spalten matrixförmig angeordnet
25 sind und mittels einer Ansteuerschaltung einzeln ansteuerbar sind. Von Vorteil hierbei ist, dass mittels des Sensors flächig Daten in hoher Auflösung, die erst durch die Kleinheit der Mikrosensoren möglich wird, erfasst werden können.
30

Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Herstellung eines monolithisch in oder auf einem Substrat ausgebildeten Mikrosensors. Dabei ist vorgesehen, dass wenigstens zwei Kam-
35 mern mit wenigstens einem die Kammern verbindenden Kanal sowie ein lediglich in eine Kammer mündender Referenzkanal ausgebildet werden. Hiernach wird eine Detektionseinrichtung zur

Erfassung eines im wenigstens einen Kanal fließenden Gasstroms, welcher Gasstrom aufgrund verschiedener in den Kammern herrschender Drücke zustande kommt, ausgebildet. Im nächsten Schritt werden die Kammern, die Kanäle und der Referenzkanal mit einem Gas aufgefüllt und nach außen gasdicht verschlossen.

Das Verschließen der Kammern und des wenigstens einen die Kammern verbindenden Kanals erfolgt in einem besonders bevorzugten Verfahrensschritt durch das Verfließen eines Abdeckmaterials. Dabei ist das Abdeckmaterial bevorzugterweise so beschaffen, dass die Kammern und die Kanäle sowie der Referenzkanal nicht ausgefüllt werden. Hierbei erfolgt das Verfließen des Abdeckmaterials in einem weiterhin bevorzugten Verfahrensschritt in Anwesenheit eines für die Füllung der Kammern bestimmten Gases.

Bei einem besonders bevorzugten Verfahren werden die Kammern, der mindestens eine die Kammern verbindende Kanal sowie der Referenzkanal in oder auf dem Substrat und die Detektionseinrichtung sowie die Referenz- und die Zusatz-Detektionseinrichtung durch die folgenden Prozess-Schritte gefertigt:

- Beschichten des Substrats mit einer Opferschicht, die insbesondere aus SiO_2 besteht,
- Strukturierung der Detektionseinrichtung sowie der Referenz- und der Zusatz-Detektionseinrichtung mit deren Zuleitungen auf der Opferschicht, insbesondere mittels eines Ätzverfahrens,
- Aufbringen einer zweiten Opferschicht,
- Aufbringen einer ersten Abdeckschicht, insbesondere aus polykristallinem Silizium,
- Versehen der Abdeckschicht mit Löchern wenigstens teilweise in den Bereichen, unter denen die Kammern und/oder Kanäle hergestellt werden sollen, und
- Herausätzen der beiden Opferschichten durch die Löcher in der Abdeckschicht zur Herstellung der Kammern und/oder Kanäle.

Um eine Diffusion des Gases in das die Wandung bildende Halbleitermaterial zu verhindern, ist es zweckmäßig, in einem weiteren bevorzugten Verfahrensschritt vor dem Verschließen der Kammern wenigstens einen Teil der den Kammern und/oder der dem Kanal zugewandten Flächen des Halbleitersubstrats mit einer Blockerschicht zu versehen. Von Vorteil hierbei ist auch, dass eine Reaktion des Füllgases mit den Oberflächen verhindert wird.

Die erfindungsgemäßen Mikrosensoren zeichnen sich neben ihren vorteilhaften Eigenschaften und ihrer leichten Herstellbarkeit auch durch ihre vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten aus.

So ist es möglich, einen erfindungsgemäßen Mikrosensor als Beschleunigungssensor, als Drucksensor oder als Temperatursensor einzusetzen.

Weitere Vorteile, Besonderheiten und zweckmäßige Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Nachfolgend wird ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Zeichnungen weiter erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Schnittansicht einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung mit einem Mikrosensor;

Figur 2 einen vergrößerten Ausschnitt eines Teilbereichs II aus Figur 1; und

Figuren 3A bis 3C schematische Schnittansichten zur Erläuterung eines Verfahrens zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Mikrosensors.

Die erfindungsgemäße Messvorrichtung mit wenigstens einem Mikrosensor kann sowohl als Beschleunigungssensor, als Druck-

sensor oder als Temperatursensor ausgestaltet sein. Bei jeder dieser Ausgestaltungen kann das gleiche Grundkonzept eingesetzt werden. Das Grundprinzip der Beschleunigungs-, Druck- oder Temperaturmessung beruht bei der erfindungsgemäßen Mess-
5 vorrichtung auf der Detektion eines Gasstromes, der aufgrund der zu messenden Größe entstanden ist. Hierzu sind zwei gasdicht abgeschlossene mit einem Gas gefüllte Kammern durch einem Kanal miteinander verbunden. Durch diesen Kanal gleichen sich in den beiden Kammern herrschende Druckunterschiede
10 durch einen sich einstellenden Gasstrom aus. Der Druckunterschied kann hierbei durch eine Beschleunigung des in der Messvorrichtung integrierten Mikrosensors oder eine Temperaturänderung des Gases in einer Kammer erreicht werden. Der Gasstrom wird vorzugsweise direkt im die Kammern verbindenden
15 Kanal mit einer Detektionseinrichtung detektiert, und in ein elektrisches Signal umgewandelt.

Das in den Figuren dargestellte Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Messvorrichtung umfasst wenigstens einen Mi-
20 krosensor, der zwei mit einem Gas gefüllte Kammern 20, 30 aufweist, wobei die Kammern 20, 30 durch einen Kanal 40 miteinander verbunden sind, die Kammern 20, 30 im Übrigen gasdicht nach außen abgeschlossen sind, und eine Detektionseinrichtung 70 zur Erfassung eines im Kanal 40 fließenden Gas-
25 stroms vorgesehen ist, welcher Gasstrom aufgrund verschiedener in den Kammern herrschender Drücke zustande kommt. Der Detektionseinrichtung 70 ist ein Heiz-Kühl-Element zugeordnet, vermittels welchem die Detektionseinrichtung auf eine von der Temperatur des Gases in den Kammern 20, 30 unter-
30 schiedliche Messtemperatur aufheizbar oder kühlbar ist.

Bei dem in den Figuren gezeigten Ausführungsbeispiel befinden sich die beiden Kammern 20 und 30 in einem Halbleitersubstrat 10. Die Kammern 20 und 30 weisen vorzugsweise Abmessungen im
35 Millimeter-Bereich auf. Beispielsweise sind die Kammern 20 und 30 jeweils einen Millimeter breit, zwei Mikrometer hoch und drei Millimeter lang. Der die Kammern 20 und 30 miteinander

der verbindende Kanal 40 weist eine Querschnittsfläche im Mikrometer-Bereich, beispielsweise 1 bis 10 μm^2 , auf. Vorzugsweise ist die Länge des Kanals um einen Faktor 2 bis 10 größer als seine Breite. Im vorliegenden Fall beträgt die Länge
5 des Kanals 40 ungefähr 10 μm .

Zur Detektion des Gasstromes ist die durch einen Widerstand ausgebildete Detektionseinrichtung 70 im Kanal 40 angeordnet. Der durch eine nicht dargestellte Heizung oder einen durch
10 ihn geführten Strom auf Messtemperatur geheizte Widerstand 70 wird durch den durch den Kanal 40 führenden Gasstrom abgekühlt.

Der Widerstand 70 besitzt vor dem Einsetzen eines Gasstromes
15 eine bestimmte Messtemperatur, und ändert durch den Kühleffekt des an ihm vorbei streichenden Gasstromes entsprechend seinem Temperaturkoeffizienten seinen Widerstandswert; auf diese Weise variiert der zu seiner Aufheizung durch ihn geführten Strom bzw. die an ihm abfallende Spannung. Das entsprechende elektrische Signal kann an den aus dem Mikrosensor
20 herausführenden Leiterbahnen 71 und 73 bzw. den Ausgängen 72 und 74 abgegriffen werden. Bei einem linearen Temperaturkoeffizienten ist die Widerstandsänderung in erster Näherung proportional zu dem Gasstrom durch den Kanal 40. Die Richtung
25 des Gasstroms und damit das Vorzeichen der zu messenden Größe kann durch eine durch einen ungeheizten Widerstand 80 ausgebildete Zusatz-Detektionseinrichtung 80 detektiert werden. Dieser ungeheizte Widerstand 80 ist in räumlicher Nähe zum geheizten Widerstand 70 angeordnet und erfährt durch einen
30 vom Widerstand 70 in Richtung zum Widerstand 80 führenden Gasstrom eine Erwärmung, da der Gasstrom über dem geheizten Widerstand 70 erwärmt wurde. Da dies nur bei einer Gasstromrichtung vom geheizten Widerstand 70 zum ungeheizten Widerstand 80 geschieht, stellt sich im Falle einer entgegengesetzten Gasstromrichtung keine Temperaturänderung des Widerstandes 80 ein. Eine sich im Falle einer Erwärmung des Widerstandes 80 entsprechend seinem Temperaturkoeffizienten ein-
35

stellende Widerstandsänderung ist über die aus dem Mikrosensor herausführenden Leiterbahnen 81 und 83 bzw. die Ausgänge 82 und 84 abgreifbar.

- 5 Um Einflüsse durch die Eigentemperatur des Mikrosensors 5 auf das zu messende Signal zu verhindern, ist eine durch einen Widerstand 60 ausgebildete Referenz-Detektionseinrichtung 60 vorgesehen. Hierbei ist der Widerstand 60 in einem dem Kanal 40 in seinen Dimensionen ähnlichen Referenzkanal 50 angeordnet. Der Referenzkanal 50 befindet sich parallel zu dem Kanal 10 40 in dem Halbleitersubstrat 10, und ist lediglich mit der Kammer 30 verbunden, sodass sich in ihm kein Gasstrom ausbilden kann. Der Referenzkanal 50 weist im Wesentlichen den gleichen Querschnitt wie der Kanal 40 auf. Seine Länge ist 15 jedoch etwas geringer, sodass der Referenzkanal 50 vor der anderen Kammer 20 endet.

- Um die Temperatureinflüsse des Mikrosensors auszuschließen, kann der Widerstand 70 mit dem Widerstand 60 zusammen in eine 20 (nicht näher dargestellte) Brückenschaltung einbezogen werden, sodass nur ein Gasfluss zwischen den Kammern ein entsprechendes Signal erzeugen kann.

- Die Widerstände 60, 70 und 80 können grundsätzlich aus jedem 25 beliebigen Material bestehen. Insbesondere Metalle oder hochdotierte Halbleiter kommen als Materialien für die Widerstände in Betracht. Der Einsatz von hochdotierten Halbleitermaterialien für die Widerstände 60, 70 und 80 hat den Vorteil, dass die Widerstände 60, 70 und 80 besonders einfach in dem 30 Herstellungsprozess der die Messvorrichtung beinhaltenden integrierten Schaltkreises hergestellt werden können.

- Es ist auch möglich, die Detektionseinrichtung 70 und/oder die Referenz- 60 und Zusatz-Detektionseinrichtung 80 vor einer 35 Öffnung des Kanals 40 bzw. Referenzkanals 50 anzuordnen bzw. auszubilden. Die Detektionseinrichtung 70 und/oder die Referenz- 60 und Zusatz-Detektionseinrichtung 80 können wei-

terhin durch einen Teilbereich des die Wandung bildenden Halbleitermaterials des Kanals 40 bzw. des Referenzkanals 50 ausgebildet bzw. ausgewiesen sein oder durch einen Teilbereich des die Wandung bildenden Halbleitermaterials ausgebildet bzw. ausgewiesen sein, welcher vor einer Öffnung eines Kanals 40 liegt.

Das Verfahren zur Herstellung umfasst die in den Figuren 3A bis 3C näher dargestellten Schritte:

10

Nach Figur 3A wird eine vorzugsweise aus Silizium bestehende Trägerschicht 10A mit einer aus SiO_2 bestehenden ersten Opferschicht 11 bedeckt. Die erste Opferschicht 11 weist vorzugsweise eine Dicke zwischen 0,5 μm und 5 μm auf.

15

Danach wird gemäß Figur 3A eine elektrisch leitfähige Strukturierungsschicht 12 zur Bildung von Widerständen 60, 70, 80 abgeschieden. Diese Schicht besteht vorzugsweise aus dotiertem polykristallinen Silizium. Eine Strukturierung der Strukturierungsschicht 12 erfolgt mit aus der Halbleitertechnologie bekannten Photolithographie- und Ätzverfahren. Die Strukturierung geschieht vorzugsweise so, dass sowohl die Widerstände 60, 70 und 80 als auch deren Zuleitungen 61, 63, 71, 73, 81, und 83 entstehen.

25

Nach der Bildung der Widerstände 60, 70 und 80 und der Zuleitungen 61, 63, 71, 73, 81, und 83 wird eine zweite Opferschicht 13 gemäß Figur 3B abgeschieden. Die zweite Opferschicht 13 weist vorzugsweise die gleiche Dicke auf wie die erste Opferschicht 11.

30

Auf die zweite Opferschicht 13 wird gemäß Figur 3B eine Abdeckschicht 14 aufgebracht. Die Abdeckschicht 14 besteht beispielsweise aus polykristallinem Silizium. Die Abdeckschicht 14 wird mit gleichfalls aus der Halbleitertechnologie bekannten Photolithographie- und Ätzverfahren in Bereichen mit Ätzöffnungen 15 versehen, unter denen in einem späteren Pro-

35

zess-Schritt ein Hohlraum 16 in Form von Kammern oder Kanälen gefertigt wird.

- 5 Durch die Ätzöffnungen 15 in der Abdeckschicht 14 werden die beiden Opferschichten 11 und 13 selektiv herausgeätzt, so dass gemäß Figur 3C die Kammern 20, 30 und der Kanal 40 sowie der Referenzkanal 50 entstehen.

- 10 Gegebenenfalls kann nun wenigstens ein Teil der in dem Substrat 10 erzeugten Flächen, die die zwei Kammern 20, 30 und den die Kammern verbindenden Kanal 40 sowie den Referenzkanal 50 bilden, vor dem Verschließen mit einer Diffusion des Füllgases in das umgebende Halbleitermaterial 10 ver hindernden oder wenigstens vermindernden Blockerschicht 18 versehen werden (Figur 3C).

- 20 Durch eine Beschichtung der Abdeckschicht 14 mit einem Abdeckmaterial 17 - beispielsweise Fließglas (vorzugsweise Bor-Phosphor-Silikatglas, BPSG) - und anschließendes Verfließen werden die Ätzöffnungen 15 in der Abdeckschicht 14 gemäß Figur 3C verschlossen. Bei BPSG ist es zweckmäßig, dieses Verfließen bei einer Temperatur von ungefähr 800 °C bis 1100 °C durchzuführen.

- 25 Das Verschließen erfolgt in einer Gasatmosphäre, gegebenenfalls bei höheren Drücken, um die Kammern mit einem gewünschten Gas zu füllen.

- 30 Nachfolgend wird die Funktionsweise der erfindungsgemäßen Messvorrichtung, der als Beschleunigungssensor arbeitet, näher erläutert.

Entsprechend der barometrischen Höhenformel $(p = p_0 \exp \left[\frac{\rho_0 g_0 h}{p_0} \right])$

- 35 ist der Druck in einer Gassäule abhängig vom spezifischen Gewicht ρ_0 des Gases, der Beschleunigung g_0 und der Höhe h . Für ein abgeschlossenes System kleiner Abmessung gilt für den

- Druck $p = p_a + \rho_0 g h_0$, wobei h_0 die wirksame Höhendifferenz und p_a der statische Innendruck ist. Eine Änderung der Beschleunigung Δg führt zu einem Druckunterschied $\Delta p = \rho_0 h_0 \Delta g$ zwischen beiden Kammern. Verwendet man ein schweres Gas mit $\rho_0 \approx 10 \text{ kg/m}^3$ (z.B. SF_6 , Xenon) so ergibt sich für eine Änderung der Beschleunigung um $\Delta g = 1 g_0$ (Erdbeschleunigung) und $h = 3 \text{ mm}$ eine Druckdifferenz von $\Delta p \approx 0,3 \text{ Pa}$. Bei einem statischen Innendruck von $1 \text{ at} \approx 10^5 \text{ Pa}$ bedeutet dies eine Druckänderung zwischen den Kammern 20 und 30 von $\frac{\Delta p}{p_a} = \frac{0,3 \text{ Pa}}{10^5 \text{ Pa}} = 0,3 \cdot 10^{-5}$. Bei einem Kammervolumen von $V = 3 \times 10^3 \times 10^3 \times 2 \mu\text{m}^3$ und einem Kanalquerschnitt von $a = 1 \times 1 \mu\text{m}^2$ bedeutet dies, dass eine Gassäule mit einer Länge von $V \frac{\Delta p}{p_a} \cdot \frac{1}{a} = 6 \cdot 10^6 \mu\text{m}^3 \cdot 0,3 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{1 \mu\text{m}^2} \approx 20 \mu\text{m}$ am Widerstand vorbeiströmt und eine entsprechende Änderung der Leitfähigkeit des Widerstands 70 durch Abkühlung desselben hervorruft. Die Empfindlichkeit des Systems kann durch die Parameter ρ_0 , V und h_0 eingestellt werden. Gemessen wird die Ableitung dg/dt der Beschleunigung. Für ein Airbagsystem mit einem Messbereich von 0 bis 50 g kann mit den oben beispielhaft gewählten Parametern eine ausreichende Genauigkeit erreicht werden. Eine Funktionsprüfung ohne Beschleunigung des Systems ist möglich durch einen in einer der beiden Kammern eingebauten Heizwiderstand, der bei Inbetriebnahme zu einem Gasstrom im Kanal zwischen den Kammern führt.
- 25 Nachfolgend wird dargestellt, wie die erfindungsgemäße Messvorrichtung als Drucksensor arbeitet.

- Hierzu wird die Anordnung entsprechend den Figuren so ausgeführt, dass eine der Kammern von einer elastischen Membran begrenzt wird. Bei einer Auslenkung der Membran um 1% der Kammerdicke a fließt eine Gassäule mit folgender Länge am Widerstand 70 vorbei:

$$\Delta p = \frac{p_a \cdot \Delta V}{V} = 10^5 \text{ Pa} \cdot 0,01 = 10^3 \text{ Pa}$$

$$L_{\text{Gassäule}} = V \cdot \frac{\Delta p}{p_a} \cdot \frac{1}{a} = 3 \times 10^3 \times 10^3 \times 2 \mu\text{m}^3 \cdot 0,01 \cdot \frac{1}{1 \mu\text{m}^2} = 6 \cdot 10^4 \mu\text{m}$$

V = Volumen einer Kammer

statischer Druck in den Kammern $p_a = 10^5 \text{ Pa}$

5

Reduziert man die Abmessung der Kammern 20, 30 auf zum Beispiel $100 \times 100 \times 2 \mu\text{m}^3$, so fließt eine Gassäule mit einer Länge von $200 \mu\text{m}$ am Widerstand vorbei. Dies bedeutet, dass mit einer Kammerfläche von nur $0,01 \text{ mm}^2$ ein sehr empfindliches Druckmesssystem aufgebaut werden kann. Wie bei einem Beschleunigungsmesser wird auch hier die Ableitung des Druckes gemessen. Um den Druck als Ausgangsgröße zu erhalten, beinhaltet die elektronische Signalauswertung eine Integration des Signals.

15

Sind beide Kammern 20, 30 von einer elastischen Membran begrenzt, so kann mit der erfindungsgemäßen Anordnung auch ein Differenzdrucksensor aufgebaut werden.

20 Eine weitere Ausgestaltung des in den Figuren dargestellten Mikrosensors als Temperatursensor ist beispielsweise dadurch möglich, dass eine der Kammern mit einer Schicht versehen wird, die Wärmestrahlung absorbiert, während die andere Kammer so gestaltet ist, dass sie Wärmestrahlung reflektiert. So
25 kann mit dieser Anordnung ein sehr empfindliches Temperaturmesssystem aufgebaut werden. Wird die Gesamttemperatur in einer Kammer um zum Beispiel 1°C erhöht, so fließt eine Gassäule mit folgender Länge am Widerstand 70 vorbei:

30

$$\frac{P \cdot V}{T} = \text{const}, V = \text{const.}$$

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{300}$$

$$L_{\text{Gassäule}} = V \cdot \frac{\Delta p}{p} \cdot \frac{1}{a} = 3 \times 10^3 \times 10^3 \times 2 \mu\text{m}^3 \cdot \frac{1}{300} \cdot \frac{1}{1 \mu\text{m}^2} = 2 \cdot 10^4 \mu\text{m}$$

Bei einer Kammerfläche von beispielsweise nur $0,01 \text{ mm}^2$ und einer Temperaturänderung von $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ fließt bereits eine Gas-säule von $7 \text{ }\mu\text{m}$ Länge an dem Widerstand 70 vorbei.

5

Die Messvorrichtung kann auch eine Vielzahl der beschriebenen Temperaturmikrosensoren in einem ein- oder zweidimensionalen Feld (Array) angeordnet aufweisen, welche Mikrosensoren mit der Auswerteschaltung monolithisch integriert werden und ver-
 10 mittels welcher sie einzeln ansprechbar sind. Eine solche Anordnung kann beispielsweise als Sensorelement in einer Infrarotkamera eingesetzt werden. Eine Integration mit einer Auswerteschaltung ist auch bei den anderen Ausführungsformen möglich.

15

Zu beachten ist, dass bei der Messanordnung für Beschleunigung, Druck oder Temperatur der Betriebsdruck p_a wegen

$$\frac{P \cdot V}{T} = \text{const.}$$
 temperaturabhängig ist, was zur Folge hat, dass
 20 bei einem gegebenen Signal (Δg , Δp , ΔT) die Länge der Gas-säule von der Temperatur abhängt. Eine entsprechende Temperaturkompensation über die Heizung des Widerstands 70 kann dies korrigieren.

Patentansprüche

1. Messvorrichtung mit wenigstens einem Mikrosensor (5), bei welcher Messvorrichtung das Folgende gilt:
 - 5 - der wenigstens eine Mikrosensor (5) weist wenigstens zwei mit einem Gas gefüllte Kammern (20, 30) auf,
 - die Kammern (20, 30) sind durch eine Durchföhrung miteinander verbunden, und
 - die Kammern (20, 30) sind im Übrigen gasdicht nach außen
- 10 abgeschlossen,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass die Durchföhrung als Kanal (40) ausgebildet ist, in dem eine Detektionsvorrichtung (70) zur Erfassung eines im Kanal (40) aufgrund verschiedener in den Kammern herrschender Drücke
- 15 fließenden Gasstrom vorgesehen ist.
2. Messvorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass der Detektionseinrichtung (70) ein Heiz-Köhl-Element zugeordnet ist, vermittels welchem die Detektionseinrichtung
- 20 auf eine von der Temperatur des Gases in den Kammern (20, 30) unterschiedliche Messtemperatur aufheizbar oder köhlbar ist.
3. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2,
25 dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass eine aufgrund des zwischen den Kammern (20, 30) durch den Kanal (40) fließenden Gasstroms erfolgende Änderung der Temperatur der Detektionseinrichtung (70) erfasst wird und die Detektionseinrichtung als Reaktion hierauf ein elektrisches Mess-Signal am Ausgang (72 und 74) der Detektionseinrichtung
- 30 liefert.
4. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 3,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
35 dass das mit der Detektionseinrichtung (70) gekoppelte Heiz-Köhl-Element durch einen elektrischen Heizwiderstand, einen Heiztransistor oder eine Heizdiode ausgebildet ist.

5. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 oder 3,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass das mit der Detektionseinrichtung (70) gekoppelte Heiz-
Kühl-Element durch ein Peltierelement ausgebildet ist.

5

6. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass die Detektionseinrichtung (70) durch ein Thermoelement
ausgebildet ist.

10

7. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 5,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass die Detektionseinrichtung (70) durch das Heiz-Kühl-
Element selbst ausgebildet ist.

15

8. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass ein lediglich in einer Kammer (30) mündender Referenzka-
nal (50) vorgesehen ist, dem eine Referenz-Detektionseinrich-
tung (60) mit vorbestimmten elektrischen Eigenschaften zuge-
ordnet ist.

20

9. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass eine Zusatz-Detektionseinrichtung (80) mit vorbestimmten
elektrischen Eigenschaften der Detektionseinrichtung (70) zu-
geordnet ist, welche Zusatz-Detektionseinrichtung (80) durch
den erwärmten bzw. abgekühlten Gasstrom, welcher durch die
auf der Messtemperatur befindliche Detektionseinrichtung (70)
in seiner Temperatur verändert wurde, im Falle der Gasstrom-
richtung von der Detektionseinrichtung (70) zur Zusatz-Detek-
tionseinrichtung (80), erwärmt bzw. abgekühlt wird und als
Reaktion hierauf ein elektrisches Mess-Signal an ihrem Aus-
gang (82 und 84) liefert bzw. im Falle einer Gasstromrichtung
von der Zusatz-Detektionseinrichtung (80) zur Detektionsein

25

30

35

richtung (70) kein Mess-Signal an ihrem Ausgang (82 und 84) liefert.

10. Messvorrichtung nach Anspruch 8,
5 dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass die Detektionseinrichtung (70) und die Referenz-Detektionseinrichtung (80) in einer Messbrückenschaltung zusammen-
geschaltet sind.
- 10 11. Messvorrichtung nach Anspruch 9 oder 10,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass sowohl die Detektionseinrichtung (70) als auch die Referenz-Detektionseinrichtung (60) oder die Zusatz-Detektions-
einrichtung (80) in oder an einem Randbereich einer Wandung
15 angeordnet oder aus der Wandung bestehend ausgebildet ist.
12. Messvorrichtung nach Anspruch 11,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass die Wandung aus Halbleitermaterial besteht.
20
13. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass die Kammern (20, 30) und die Kanäle (40, 50) und/oder
der Referenzkanal (50) des Mikrosensors (5) in einem Halbleitersubstrat (10) ausgebildet sind.
25
14. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass die Zusatz-Detektionseinrichtung (80) innerhalb mindestens eines Kanals (40) ausgebildet ist.
30
15. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass eine der Kammern (20, 30) eine nach außen abschließende
35 elastische Membran aufweist.
16. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15,

dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass die Mikrosensoren (5) in Zeilen und Spalten matrixförmig
angeordnet sind und vermittels einer Ansteuerschaltung ein-
zeln ansteuerbar sind.

5

17. Verfahren zur Herstellung einer monolithisch in einem
Substrat ausgebildeten Messvorrichtung mit mindestens einem
Mikrosensor (5), mit den Schritten:

- Ausbilden wenigstens zweier Kammern (20, 30) mit einer die
 - 10 Kammern (20, 30) verbindenden Durchführung,
 - Ausbilden einer Detektionseinrichtung (70) zur Erfassung
eines in der Durchführung fließenden Gasstroms, welcher
Gasstrom aufgrund verschiedener in den Kammern (20, 30) herr-
schender Drücke zustande kommt,
 - 15 - Auffüllen der Kammern (20, 30) und der Durchführung mit ei-
nem Gas, und
 - gasdichtes Verschließen der Kammern (20, 30) nach außen.
- dadurch g e k e n n z e i c h n e t,
dass die Durchführung als Kanal (40) ausgebildet wird, in dem
- 20 die Detektionsvorrichtung (70) angeordnet wird und
dass zusätzlich ein lediglich in eine Kammer (30) mündender
Referenzkanal (50) ausgebildet wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17,

- 25 dadurch g e k e n n z e i c h n e t, dass
das Verschließen der Kammern (20, 30) und der wenigstens eine
die Kammern verbindende Kanal (40) durch das Verfließen eines
Abdeckmaterials (17) erfolgt, wobei das Abdeckmaterial so be-
schaffen ist, dass die Kammern und die Kanäle sowie der Refer-
30 renzkanal (50) nicht ausgefüllt werden.

19. Verfahren nach Anspruch 18,

- dadurch g e k e n n z e i c h n e t, dass
das Verfließen des Abdeckmaterials (17) in Anwesenheit eines
- 35 für die Füllung der Kammern (20, 30) bestimmten Gases er-
folgt.

20. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t, dass
das Abdeckmaterial (17) Bor-Phosphor-Silikatglas (BPSG) ist.

- 5 21. Verfahren nach Anspruch 17,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t, dass
die Kammern (20, 30), der mindestens eine die Kammern verbindende Kanal (40) sowie der Referenzkanal (50) in dem Substrat (10) sowie die Detektionseinrichtung (60) sowie die Referenz-
10 und die Zusatz-Detektionseinrichtung (70 und 80) durch die folgenden Prozess-Schritte gefertigt werden:
- Beschichten des Substrats (10) mit einer Opferschicht (11), beispielsweise SiO_2 ,
 - Strukturierung der Detektionseinrichtung (60) sowie der Referenz- und der Zusatz-Detektionseinrichtung (70 und 80) mit deren Zuleitungen (61, 63, 71, 73, 81, 83) auf der Opfer-
15 schicht (11), beispielsweise mittels eines Ätzverfahrens,
 - Aufbringen einer zweiten Opferschicht (13),
 - Aufbringen einer Abdeckschicht (14), beispielsweise aus polykristallinem Silizium,
20
 - Versehen der Abdeckschicht (14) mit Löchern (15) wenigstens teilweise in den Bereichen unter denen die Kammern (20, 30) und/oder Kanäle (40, 50) hergestellt werden sollen,
 - Herausätzen der beiden Opferschichten (11 und 13) durch die
25 Löcher (15) in der Abdeckschicht (14) zur Herstellung der Kammern (20, 30) und/oder Kanäle (40, 50).

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 21,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t, dass
30 wenigstens ein Teil der in dem Substrat (10) erzeugten Flächen, die die mindestens zwei Kammern (20, 30) und den wenigstens einen die Kammern verbindenden Kanal (40) sowie den Referenzkanal (50) bilden, vor dem Verschließen mittels des Abdeckmaterials (17) mit einer eine Diffusion des Füllgases
35 in das umgebende Halbleitermaterial (10) verhindernden oder wenigstens vermindernenden Blockerschicht (18) versehen wird.

Zusammenfassung

- Die Erfindung betrifft eine Messvorrichtung mit wenigstens
- 5 einem Mikrosensor (5), bei welcher Messvorrichtung das Folgende gilt:
- der wenigstens eine Mikrosensor weist wenigstens zwei mit einem Gas gefüllte Kammern (20, 30) auf,
 - die Kammern (20, 30) sind durch wenigstens einen Kanal (40)
 - 10 miteinander verbunden,
 - die Kammern (20, 30) sind im Übrigen gasdicht nach außen abgeschlossen, und
 - es ist eine Detektionseinrichtung (70) zur Erfassung eines im wenigstens einen Kanal (40) fließenden Gasstroms vorgese-
 - 15 hen, welcher Gasstrom aufgrund verschiedener in den Kammern herrschender Drücke zustande kommt.

Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Mikrosensors.

20

(Figur 1)

DOCKET NO: _____
 SERIAL NO: _____
 APPLICANT: _____
 LERNER AND GREENBERG P.A.
 P.O. BOX 5480
 HOLLYWOOD, FLORIDA 33055
 TEL. (954) 952-1100